

PIROLISIS TANDAN KOSONG SAWIT MENJADI *BIO-OIL* MENGUNAKAN KATALIS Mo/NZA

Firman Syah¹, Syaiful Bahri², Amun Amri²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ² Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
firmanssyah@yahoo.co.id

ABSTRACT

Fuel oil is a very important requirement in life. The fuel used for this comes from crude oil extracted from the ground, while fuel oil is non-renewable, so for the next few years is expected the public will experience a shortage of fuel. So, we need alternative energy instead of petroleum. Biomass can be used as bio-oil by pyrolysis. Biomass using such as empty fruit bunches oil. Empty Fruit Bunch Oil is organic waste that has the potential to be used as a substitute fuel bioenergy, the largest waste generated by oil palm plantations. The purpose of this study is to produce bio-oil from empty fruit bunches of oil using catalysts Mo/NZA the pyrolysis process, as well as determine the effect of the ratio of the catalyst of biomass empty fruit bunches of oil to the yield of bio-oil produced from empty fruit bunches of oil and determine the characteristics of the chemical and physical properties of bio -oil produced from oil palm empty fruit bunches. In this research Empty Fruit Bunch Oil by the size of - 100+200 mesh, 50 grams, 500 ml silinap and catalyst Mo/NZA inserted into of pyrolysis reactor. This process conducted at a temperature 320°C and the stirring speed of 300 rpm operate for about 120 minutes by flowing nitrogen gas. For the optimum yields obtained at 1.5% catalyst Mo/NZA as much as 5% of biomass that is equal to 56.28%. The test results physical properties obtained density of 1.005 g/ml, 2,296 cSt viscosity, acidity 45,373 mg NaOH /g sample and the flash point 52°C. Respectively the characterization of the chemical properties of bio - oil using Gas Chromatography - Mass Spectroscopy (GC - MS) obtained some dominant chemical components such as:: (Pentane, 2,2,4,4-tetramethyl-), (1-Pentene, 2,4 , 4-trimethyl-), (Cyclohexane, 1-bromo-4-methyl), (Hexane, 2,2-dimethyl-), (Pentane, 2,4-dimethyl-).

Keywords: *bio-oil, biomass, catalyst mo / NZA, oil palm empty fruit bunches*

1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah penduduk disertai dengan peningkatan aktivitas industri, mengakibatkan konsumsi energi fosil berbanding terbalik dengan cadangan energi fosil yang tersedia. Sehingga saat ini kita dihadapkan dengan yang namanya krisis energi. Untuk itu, diperlukan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui untuk mengatasi permasalahan ini. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu *bio-oil*.

Bio-oil dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dan dapat diproduksi dari biomassa. Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah tandan kosong sawit. Rata-rata produksi tandan kosong sawit adalah berkisar 22-23% dari total berat tandan buah segar yang diproses di pabrik sawit [Isroi, 2008]. Sehingga limbah tandan kosong sawit untuk daerah Riau diperkirakan sebesar 1,39 juta ton pada tahun 2010. Tandan kosong sawit mengandung serat yang tinggi, kandungan utama tandan kosong sawit adalah selulosa, dan lignin. Selulosa dalam tandan kosong sawit dapat mencapai 54-60% sedangkan kandungan lignin mencapai 22-27% [Hambali, dkk. 2007].

Proses yang digunakan dalam memproduksi *bio-oil* adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses dimana partikel-partikel bahan organik atau biomasa diberikan pemanasan secara cepat pada suhu antara 450-600°C tanpa adanya kandungan oksigen dalam proses. Dari proses tersebut diperoleh uap organik, gas dan arang. Uap organik dikondensasikan menjadi *bio-oil* dengan hasil mencapai 38-60% berat dari umpan yang dimasukkan [Goyal dkk., 2006].

Pada proses pirolisis, adanya katalis dapat mempercepat terbentuknya *bio-oil*. Salah satu bahan yang dapat dijadikan katalis adalah zeolit alam. Keunggulan zeolit alam sebagai katalis yaitu memiliki struktur pori yang lebih besar, stabilitas termal tinggi, luas permukaan yang lebih besar dan aktivitas katalitik yang baik [Darwanta dan Sriyanto, 2008]. Selain itu,

keberadaan zeolit alam di Indonesia sangat melimpah. Sebagai katalis dapat ditingkatkan dengan cara mendistribusikan logam ke dalam pori zeolit. Menurut Septriana [2006] dengan menempatkan komponen aktif logam ke dalam suatu bahan berpori dapat menyebabkan luas permukaan menjadi lebih besar, yang pada akhirnya akan memperbesar luas kontak antara katalis dengan reaktan, sehingga reaksi berjalan cepat. Salah satu logam yang dapat digunakan adalah molibdenum yang diketahui mempunyai aktivitas hidrroengkah yang baik serta berperan pada reaksi deoksigenasi *bio-oil*. Kombinasi antara logam Mo dan zeolit alam dapat meningkatkan luas permukaan dan stabilitas termal yang tinggi. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan kualitas *bio-oil* yang dihasilkan menjadi lebih baik digunakan Mo/NZA sebagai katalis dalam proses pirolisis.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah zeolit alam, tandan kosong sawit yang diperoleh di sekitar PTPN V Sei Galuh, HCl 6 N, NH₄Cl 1 N, aquades, gas N₂, O₂, dan H₂, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, silinap 280M (*thermo oil*)

2.2 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *blender*, ayakan 80 dan 100 mesh, reaktor alas datar ukuran 2 liter, satu set motor pengaduk, *oven*, *heating mantel*, timbangan analitik, tabung dan regulator gas N₂, O₂, dan H₂, reaktor pirolisis, kondenser, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer 10 ml, viskometer Oswald, gelas piala 500 ml, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml, statif, GC-MS (Kromatografi Gas-Spektrometer Massa)..

2.3 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini biomassa yang digunakan sebanyak 50 gram, ukuran ayakan biomassa -80+100 mesh dan zeolit -100+200 *mesh*, temperatur pirolisis 320 °C, waktu pirolisis 120 menit, kecepatan

pengadukan 300 rpm, silinap 280 M sebanyak 500 ml. Variasi persentase berat logam Mo terhadap katalis NZA adalah 0%; 0,5%; 1,5% dan 1,5% sedangkan variasi persentase berat katalis Mo/NZA terhadap biomassa 3% dan 5%. Zeolit alam digerus dalam lumpang porselein, kemudian diayak dengan ukuran -100+200 mesh dengan ketentuan zeolit alam yang diambil merupakan zeolit alam yang lolos pada pengayak 100 *mesh* dan tertahan pada ayakan 200 *mesh*. Selanjutnya dilakukan proses dealuminasi zeolit alam dengan larutan HCl 6 N dan NH₄Cl 1 N. 200 gram zeolit alam direfluks dalam 1000 ml larutan HCl 6 N selama 30 menit pada suhu 50 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar, kemudian disaring dan dicuci sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, setelah itu *cake* dikeringkan pada suhu 110 °C selama 3 jam. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 1500 ml larutan NH₄Cl 1 N pada temperatur 90 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam sehari selama satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan selama 24 jam pada suhu 110 °C.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Ni sebesar 0%; 0,5%; 1%; dan 1,5% dari berat NZA. Proses dimulai dengan melarutkan sampel NZA ke dalam 500 ml (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O dan direfluks pada suhu 90 °C selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar. Setelah waktu tercapai, kemudian larutan di uapkan pada suhu 110 °C untuk menghilangkan air. Pada tahap ini didapat katalis Mo/NZA sesuai dengan persentase berat logam.

Selanjutnya katalis MoNZA diaktivasi dengan melakukan proses-proses kalsinasi, oksidasi, dan reduksi. Sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube*. *Tube* di isi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll*. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara

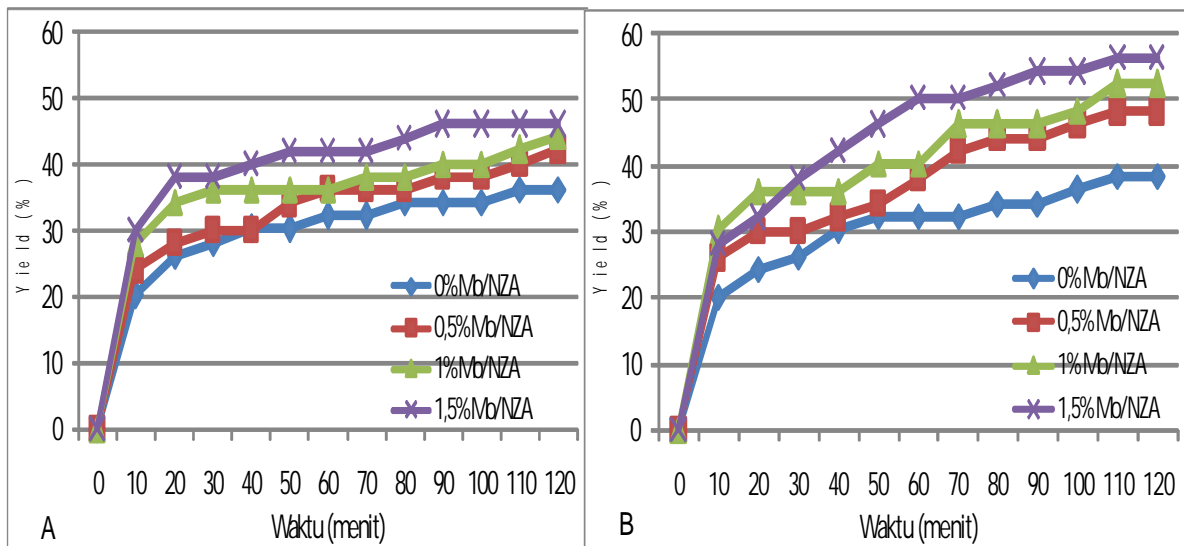
vertikal, dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar 400 ml/menit. Selanjutnya katalis dioksidasi pada suhu 400 °C menggunakan gas oksigen sebesar 400 ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400 °C menggunakan gas hidrogen sebesar 400 ml/menit selama 2 jam.

Biomassa tandan kosong sawit dipotong lalu dijemur di bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan blender untuk selanjutnya dikeringkan kembali di bawah terik matahari. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -80+100 *mesh*. Selanjutnya biomassa berupa tandan kosong sawit yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap (*thermo-oil*) dan katalis Mo/NZA dimasukkan kedalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 320 °C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen dengan laju alir 80 ml/menit. Diaduk dengan pengaduk listrik pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Uap organik yang terbentuk akan di kondensasi menggunakan kondensor sehingga dihasilkan *bio-oil*, selanjutnya produk *bio-oil* tersebut ditampung dalam gelas ukur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Logam Mo Pada Katalis Mo/NZA Terhadap Yield Bio-oil yang dihasilkan

Impregnasi logam Mo terhadap *natural zeolite dealuminated* (NZA) mempengaruhi *yield bio-oil* yang di dapat dari proses pirolisis tandan kosong sawit (TKS). Proses pirolisis ini dilakukan pada suhu 320 °C dan pengambilan *bio-oil* dilakukan pada rentang waktu 10 menit selama 2 jam. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi kadar logam Molibdenum (Mo) 0%; 0,5%; 1%; dan 1,5% pada katalis Mo/NZA. Selain itu berat katalis Mo/NZA terhadap biomassa yang digunakan juga di variasikan sebesar 3% dan 5% berat.



Gambar 3.1 Pengaruh Kadar Logam Mo pada Katalis Mo/NZA Terhadap *Yield Bio-oil* pada Variasi Berat Katalis Terhadap Biomassa 3% (A) dan 5% (B)

Terlihat pada Gambar 3.1 dapat disimpulkan bahwa kadar logam Mo/NZA mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan. Pada penggunaan katalis sebesar 3% b/b terhadap biomassa, persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada kadar logam 0% ; 0,5% ; 1% dan 1,5 b/b Mo/NZA berturut-turut adalah 36,25%, 42,17%, 44,22% dan 46,05%. Sedangkan pada penggunaan berat katalis 5% b/b terhadap biomassa, persentase *yield bio-oil* yang diperoleh pada kadar logam 0% ; 0,5% ; 1% dan 1,5 b/b Mo/NZA berturut-turut adalah 38,42%, 48,24%, 52,36% dan 56,28%.

Dapat dilihat bahwa proses pirolisis tandan kosong sawit menggunakan berat katalis 3%, dan 5% b/b terhadap biomassa diperoleh *yield bio-oil* tertinggi pada pengembanan logam Mo sebesar 1,5% dengan berat katalis 5% yaitu sebesar 56,28%. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan kadar logam pada katalis Mo/NZA dapat meningkatkan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Tujuan dari impregnasi logam aktif kepermukaan suatu padatan adalah untuk memperluas permukaan dari suatu padatan (sampel katalis) yang pada akhirnya akan meningkatkan luas permukaan spesifik suatu padatan dan

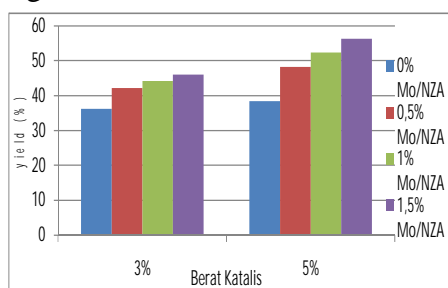
diharapkan aktivitas sampel katalis akan meningkat [Setyawan dan Handoko,2002].

Menurut Setiadi dan Pertiwi [2007], sistem katalis logam pengembanan dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari NZA sehingga aktivitas dari katalis juga semakin meningkat. Logam sebagai fasa aktif berperan untuk mempercepat dan mengarahkan reaksi. Sedangkan penyangga atau *support* berfungsi untuk memberikan luas permukaan yang lebih besar bagi fasa aktif, meningkatkan stabilitas termal dan efektivitas katalis. Dapat dilihat juga semakin besar kadar logam yang diembankan, maka *yield bio-oil* yang diperoleh juga semakin besar. Hal ini berkaitan dengan jumlah sisi aktif dari katalis yang juga mengalami peningkatan, sehingga probabilitas reaktan berinteraksi dengan permukaan katalis juga semakin meningkat. Selain itu, adanya logam juga dapat meningkatkan keasaman katalis, dimana keasaman katalis yang tinggi dapat memberikan medium yang kondusif untuk proses katalitik. Oleh sebab itu, semakin besar kadar logam yang digunakan maka keasaman katalis akan semakin meningkat, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin meningkat [Ginting,dkk., 2007].

Pengembangan kadar logam Mo pada NZA menyebabkan volume *bio-oil* yang diperoleh semakin besar [Zuharniaty, 2012].

3.2 Pengaruh Variasi Berat Katalis Mo/NZA Terhadap Yield Bio-oil

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa pengembangan logam Mo mempengaruhi perolehan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari *yield bio-oil* yang diperoleh, dimana *yield* yang diperoleh pada rasio berat katalis 3% terhadap biomassa dengan persentase pengembangan logam 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5% Mo/NZA yaitu 36,25%; 42,17%; 44,22%; dan 46,05%. Sedangkan *yield* yang diperoleh pada rasio berat katalis 5% terhadap biomassa dengan persentase pengembangan logam 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5% Mo/NZA yaitu 38,41%; 48,24%; 52,36%; dan 56,28%. Dari grafik di atas dapat dilihat pengaruh berat katalis terhadap *yield bio-oil*, dimana pada katalis tanpa logam terjadi peningkatan *yield bio-oil* seiring dengan bertambahnya jumlah katalis yang digunakan.



Gambar 3.3 Pengaruh Berat Katalis Mo/NZA Terhadap Perolehan Yield Bio-oil

Menurut Lestari [2010], bahwa dengan bertambahnya persentase berat katalis terhadap biomassa dengan ukuran biomassa yang sama, maka jumlah pori pada katalis semakin meningkatkan dan luas permukaannya juga semakin besar, sehingga situs-situs aktif pada katalis yang dapat dimanfaatkan selama proses perengkahan semakin banyak dan dapat

menyebabkan volume *bio-oil* yang meningkatkan *yield bio-oil* yang dihasilkan.

3.3 Karakterisasi Bio-oil

3.3.1 Analisa Fisika

Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan meliputi penentuan massa jenis, viskositas, titik nyala, dan angka keasaman. Data Hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* dari tandan kosong sawit dengan *bio-oil standard* dan *diesel oil* terlihat pada Tabel 3.1.

Parameter	Bio-Oil dari Tandan Kosong Sawit (Penelitian Ini, Firmansyah)	Bio-Oil Standar*	Diesel Oil**
Densitas(gr/ml)	1,005	0,94-1,2	0,81-0,89
Viskositas Kinematik (cSt)	2,296	4-78	1,3-24,0
Titik Nyala (°C)	52	45-100	38-55
Angka Keasaman (mg NaOH/gr sample)	45,373	35,1-50	42,6-45,6

Tabel 3.1 Perbandingan Karakteristik Fisika

Bio-oil dari Tandan Kosong Sawit (TKS)

Sumber : * : Mohan[2006]
 ** : IARC monographs volume 45 [1989]
 *** : Boundy dkk [2011]

Dari Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi *bio-oil* dari tandan kosong sawit yang diperoleh, dimana penggunaan katalis Mo/NZA ternyata diperoleh viskositas rendah dibandingkan viskositas dari *bio-oil* standar. Hal ini disebabkan hidrokarbon rantai pendek yang terdapat dalam *bio-oil* tandan kosong sawit lebih banyak dari pada *bio-oil* standar, dimana saat proses pirolisis banyak hidrokarbon rantai panjang yang terengkah menjadi hidrokarbon yang lebih pendek. Sehingga menyebabkan viskositas *bio-oil* tandan kosong sawit lebih rendah dibandingkan dengan *bio-oil* standar. Berdasarkan hasil karakteristiknya, maka *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis tandan kosong sawit potensial untuk dikembangkan sebagai sumber bahan bakar alternatif.

3.3.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa komponen kimia *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan GC-MS. Timbulnya puncak-puncak pada analisa GC-MS tersebut telah membuktikan bahwa proses pirolisis yang dilakukan dapat mendekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Analisa kimia *bio-oil* pada penelitian ini menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). *Bio-oil* yang di analisa adalah variasi dengan *yield bio-oil* tertinggi, dalam hal ini penggunaan katalis Mo/NZA dengan kadar logam 1,5% adalah yang menghasilkan *yield* tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya, baik pada penggunaan 3% berat, dan 5% berat. Untuk itu dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung pada *bio-oil*. Selain itu, *bio-oil* yang dihasilkan pada penggunaan katalis Mo/NZA 5% berat dengan kadar logam 0% juga dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk melihat efek penggunaan logam pada katalis.

Dari hasil analisa GC-MS, terlihat bahwa dengan adanya penambahan katalis akan mengurangi jumlah senyawa yang dihasilkan dimana tanpa katalis jumlah senyawa yang terdapat pada *bio-oil* berjumlah 68 senyawa sedangkan pada penggunaan katalis Mo/NZA 0,5%, 1%, dan 1,5% b/b terhadap biomassa jumlah senyawa yang dihasilkan secara berturut-turut yaitu 59; 59; dan 53 senyawa. Hal ini menandakan bahwa katalis memegang peranan penting.

Senyawa yang terkandung dalam *bio-oil* berkisar antara 53-68 senyawa. Dimana pada variasi katalis yang menghasilkan *yield* tertinggi, 1,5% logam Mo dan berat katalis 5% mengandung 53 senyawa. Adapun senyawa yang memiliki luas area paling besar yaitu: 2-Pentene, 4,4-dimethyl (8,26%) ; 2-Pentene, 4,4-dimethyl (16,27%); 2-Pentene, 2,4,4-dimethyl (9,67%). Adapun senyawa-

senyawa lain yang terkandung dalam *bio-oil* dapat dilihat pada lampiran D.

Tiga puncak tertinggi masing-masing kromatogram merupakan komponen-komponen dalam *bio-oil* yang sebagian besar merupakan hasil dekomposisi dari selulosa dan hemiselulosa. Dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan mengandung komponen-komponen yang diperlukan untuk menjadi *bio-oil*, seperti yang telah dijelaskan oleh NREL [2000], dimana komponen organik yang terdapat di dalam *bio-oil* yakni memiliki kandungan-kandungan dari kelompok asam, ester, alkohol, keton, aldehid, alkena, furan dan senyawa organik lainnya yang merupakan karakteristik dari *bio-oil*.

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

1. Pirolisis Tandan Kosong Sawit menjadi *Bio-oil* dengan Katalis Mo/NZA dapat menghasilkan *bio-oil* yang bisa digunakan sebagai energi alternatif.
2. Pengembangan logam ke dalam zeolit alam dapat meningkatkan aktifitas katalitiknya, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin besar. *Yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada variasi jumlah pengembangan logam 1,5% Mo dari NZA dan rasio berat katalis 5% terhadap biomassa sebesar 56,28%.
3. Karakteristik fisika *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah densitas 1,005 gram/ml, viskositas 2,296 cSt, angka asam 45,373 mg NaOH/gram sampel, dan titik nyala 52°C. Senyawa dominan yang terkandung di dalam *bio-oil* pada suhu pirolisis 320°C, persentase pengembangan logam 1,5% dan penggunaan katalis Mo/NZA 5% adalah *Pentane, 2,2,4,4-tetramethyl-, 1-Pentene, 2,4,4-trimethyl-, Cyclohexane, 1-bromo-4-methyl-, Hexane, 2,2-dimethyl-, Pentane, 2,4-dimethyl*

4.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pirolisis tandan kosong sawit menjadi *bio-oil* agar memperoleh *bio-oil* yang sifat-sifatnya secara keseluruhan sesuai dengan karakteristik bahan bakar solar.
2. Untuk aplikasi *bio-oil* yang lebih luas perlu dilakukan tahap lebih lanjut yaitu proses *upgrading bio-oil* dari tandan kosong sawit.
3. Perawatan alat yang berkala agar hasil lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Ginting, A. Br., Dian, A., Sutri, I., & Rosika, K. (2007). *Karakterisasi Komposisi Kimia. Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal dari Zeolit Bayah. Tasikmalaya. dan Lampung. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. BATAN. Serpong.*
- Goyal, H.B., Seal, D., & Saxena, R.C. (2006). *Bio-Fuels from Thermochemical Conversion Of Renewable Resources: A Review*, India Institute of petroleum, India.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., Hendroko, R. (2007). *Teknologi Bioenergi*, Penerbit Agromedia Pustaka. Jakarta.
- IARC Monograph. (1989). *Occupational Exposures in Petroleum Refining: Crude Oil and Major Petroleum Fuels*. France: IARC intern. tech. Rep Vol.45.
- Isroi. (2008). *Cara Mudah Mengomposkan Tandan Kosong Kelapa Sawit*, <http://radiks.wordpress.com/category/penelitian-teknik-kimia/>. diakses pada 28 Maret 2015.
- Lestari, D.Y. (2006). Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolite Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010.30 Oktober*. Universitas Negeri Yogyakarta : 1-7.
- Mohan, D., Pittman, C.U., & Steel, P.H. (2006). *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. *Jurnal Energy and Fuels* 20: 848-889.
- Setyawan, D., & Handoko, P. (2003). *Aktivitas Katalis Cr/Zeorlit dalam Reaksi Konversi Katalitik Fenol dan Metil Isobutil Keton*, *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 4 no.2 hal :73-76.
- Setiadi & Pertiwi A. (2007). *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon. Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS 2007*.
- Zuharniaty, A. 2012. *Konversi Cangkang Sawit Menjadi Bio-Oil Menggunakan Katalis Ni/Mineral Alam (Lempung Cengar)*, Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru.